

С. Д. КЛЕМЕНТЬЕВ

Электронный микроскоп

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА
ВЫПУСК 47

С. Д. КЛЕМЕНТЬЕВ

ЭЛЕКТРОННЫЙ МИКРОСКОП

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1953

16-2-1

Редактор *Б. И. Слободской.*

Техн. редактор *Н. А. Тумаркина.* Корректор *Ц. С. Варшавская.*

Подписано к печати 28 X 1953 г. Бумага 84×108/32. 0,75 бум. л. 2,46 печ. л. 2,12 уч.-изд. л. 34900 тип. зн. в печ. л. Тираж 100 000 экз. Т-08231. Цена 65 коп. Заказ № 688.

Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома Главиздата Министерства культуры СССР. Москва, Валовая, 28.



ВВЕДЕНИЕ

Эта небольшая книжка знакомит читателя с одним из самых замечательных приборов современности — электронным микроскопом. Созданный около 20 лет назад, этот прибор стал в настоящее время незаменимым помощником человека в научных исследованиях; с его помощью было изучено немало важных и интересных явлений природы.

Советские учёные создали много различных образцов совершенных электронных микроскопов; эти приборы работают теперь в лабораториях биологов и металловедов, химиков и физиков.

В руках поджигателей новой войны — американо-английских империалистов — электронный микроскоп служит чёрным целям. С его помощью те американские учёные, которые продались империалистам, исследуют новые, ужасные средства уничтожения людей. Одно из таких средств — бактерии чумы, холеры и других болезней — американские генералы применяли в Корее.

Иное назначение электронных микроскопов у нас, в стране мира. Эти приборы верно служат великому делу строительства коммунизма.

Электронный микроскоп помогает изучать строение нервной системы и мозговых тканей, строение белка и молекул многих других веществ. Он позволяет также находить и изучать возбудителей опасных болезней,

исследовать внутреннее строение различных материалов и т. д.

Трудно перечислить все области применения этого замечательного прибора.

Что же представляет собой электронный микроскоп?

1. СЕКРЕТ УВЕЛИЧИТЕЛЬНЫХ СТЁКОЛ

Не задумывались ли вы над тем, почему лупа увеличивает во много раз рассматриваемый предмет, а обычное плоское стекло нет? В чём здесь секрет?

Оказывается, секрет состоит в том, что лупа увеличивает так называемый угол зрения.

Это такой угол, который составляют две прямые, проведённые к глазу от крайних точек рассматриваемого предмета.

Вы смотрите на автомобиль (рис. 1). Линии, проведённые от крыши кабины и нижней точки колеса, сходятся в нашем глазу под углом. Этот угол и называют углом зрения. Чем ближе к нам находится рассматриваемый предмет, тем больше будет угол зрения.

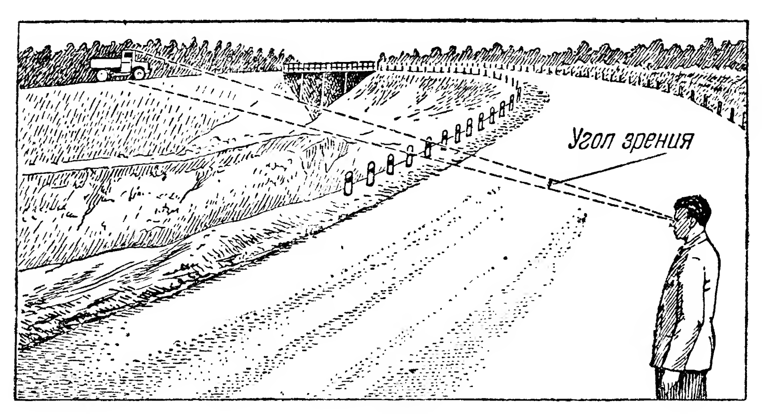
Как известно, углы измеряются градусами, минутами и секундами. Полная окружность составляет угол в 360 градусов. Прямой угол равен 90 градусам. Угол, равный одному градусу, можно разделить на ещё меньшие углы. Одна шестидесятая доля градуса равна одной минуте. Угол зрения, равный одной минуте, является пределом видимости для нашего глаза. Мы не можем разглядеть простым глазом деталей предмета, если он виден под углом зрения, меньшим одной минуты. Такой предмет будет казаться нам точкой.

При ещё меньших размерах предмета, когда угол зрения значительно меньше одной минуты, мы не видим даже точки; предмет становится совершенно невидимым для невооружённого глаза: он сливается с фоном.

От величины угла зрения зависит, насколько ясно, с какими подробностями мы видим окружающие тела.

Таким образом, чтобы хорошо рассмотреть какой-либо маленький предмет, необходимо увеличить угол зрения. Но как это сделать?

Одним из простейших приборов, выполняющих эту роль, и является увеличительное стекло — лупа или, как её ещё называют, двояковыпуклая линза.



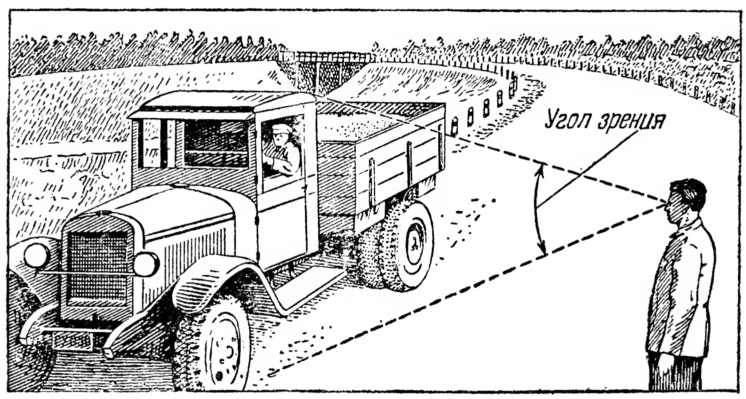


Рис. 1. Чем ближе и чем больше предмет, тем больше и угол зрения, под которым мы видим этот предмет.

На рисунке 2 показан ход световых лучей в двояковыпуклой линзе. Выходящие из точки лучи преломляются в линзе и дают её изображение.

В зависимости от положения точки лучи могут и не сходиться; в этом случае говорят, что образуется мнимое изображение.

Когда мы рассматриваем предмет с помощью лупы (рис. 3), наши глаза не воспринимают преломления лучей. Нам кажется, что лучи, идущие от линзы в глаз, прямолинейны, что они продолжаются за увеличительным стеклом, не преломляясь. Поэтому мы и видим предмет под

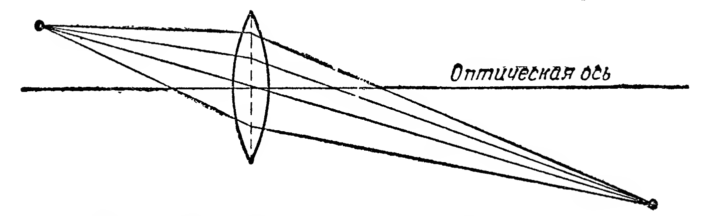


Рис. 2. Ход лучей в двояковыпуклой линзе-лупе.

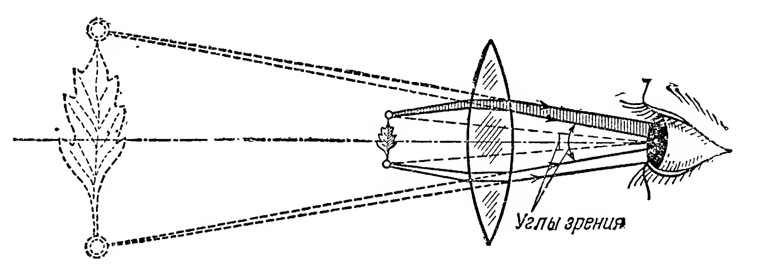


Рис. 3. Лупа увеличивает угол зрения.

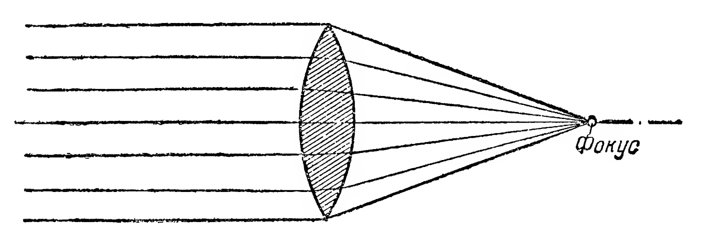


Рис. 4. Фокус двояковыпуклой линзы.

бо́льшим углом зрения. Получается увеличенное изображение предмета по сравнению с тем, которое видит наш глаз без лупы. Причина этого кроется в том, что с помощью двояковыпуклой линзы мы видим мнимое изображение предмета под бо́льшим углом зрения, чем без линзы.

Следует, однако, заметить, что лупа не всегда увеличивает угол зрения. Это зависит от того, где расположить рассматриваемый предмет относительно фокуса линзы (фокусом линзы называют точку на главной оптической оси линзы, где сходятся параллельные лучи, прошедшие через линзу; см. рис. 4).

С помощью одной линзы можно увеличить предмет в десятки раз, не больше. При таком увеличении нельзя увидеть многое в мире малых предметов.

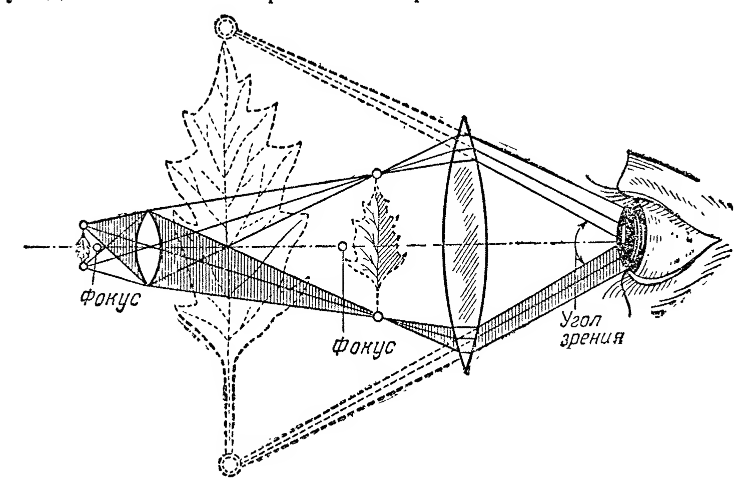


Рис. 5. Ход лучей в микроскопе.

Чтобы иметь возможность видеть ещё лучше, надо увеличить угол зрения в сотни и тысячи раз. Можно ли это сделать?

Можно.

Уже давно было установлено, что если взять не одно, а два увеличительных стекла и расположить их друг за другом, то изображение предмета увеличивается ещё сильнее, во много раз больше, чем при одном стекле. Такие приборы были построены впервые ещё в XVI веке и были названы оптическими микроскопами.

Ход лучей в микроскопе показан на рисунке 5. Как видно из рисунка, первое увеличенное изображение предмета даёт объектив микроскопа — линза, расположенная

первой у рассматриваемого предмета. Здесь предмет помещается за фокусом объектива, и поэтому объектив даёт действительное, увеличенное и перевёрнутое изображение предмета. Это изображение затем снова увеличивается окуляром микроскопа — линзой, которая находится у глаза наблюдателя. Окуляр, так же как и

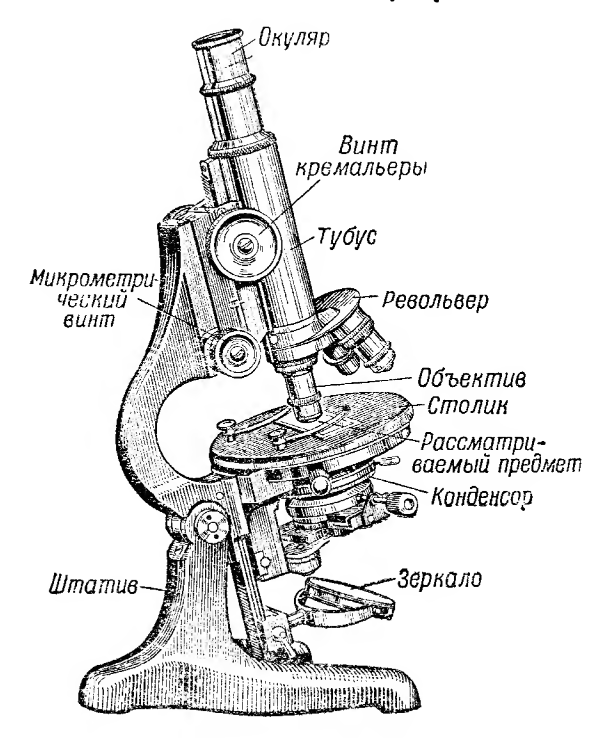


Рис. 6. Внешний вид оптического микроскопа.

лупа, расположен в микроскопе так, что первое увеличенное изображение рассматриваемого предмета оказывается между этой линзой и её фокусом. Новое, ещё более увеличенное, мнимое изображение предмета мы и видим в окуляре микроскопа.

Оптический микроскоп позволил увеличить угол зрения в сотни и тысячи раз. Современные оптические

микроскопы увеличивают изображения предметов в 2000 и более раз. В них применяются не две линзы, как это было у первых микроскопов, а сложные системы из многих линз. Внешний вид такого микроскопа изображён на рисунке 6 *).

2. О ПРИРОДЕ СВЕТА

Изобретение оптического микроскопа, с помощью которого можно было наблюдать и изучать различные тела, недоступные невооружённому человеческому глазу, помогло расширить представление об окружающей нас живой и мёртвой природе.

Оптический микроскоп позволил изучить строение клеток растительных и животных организмов, внутреннее строение минералов, металлов и сплавов. В оптический микроскоп впервые были рассмотрены невидимые простым глазом тончайшие ответвления нервных волокон и кровеносных сосудов. Наконец, с помощью оптического микроскопа были открыты мельчайшие живые существа — микробы, многие из которых вызывают опаснейшие заболевания (рис. 7).

Сотни тысяч человеческих жизней были спасены благодаря этому замечательному изобретению. Однако возможности оптического микроскопа были ограничены. Так, например, с его помощью нельзя было обнаружить ещё не известных возбудителей некоторых заразных болезней.

Страшная болезнь — бешенство, некоторые виды энцефалита, корь, грипп и другие заболевания, видимо, вызываются настолько мелкими существами, что увидеть их нельзя было даже в самые совершенные оптические приборы.

Как было установлено, в оптический микроскоп нельзя увидеть частиц, размеры которых меньше двух десятитысячных долей миллиметра.

Чем это объяснить? Ведь, казалось бы, чем больше линз в микроскопе, тем бóльшего увеличения рассматриваемых предметов можно добиться. Почему же

*) О том, как устроен оптический микроскоп, подробно рассказывается в книжке «Научно-популярной библиотеки» Гостехиздата: В. С. Сухоруких, Микроскоп и телескоп.

у оптического микроскопа есть предел, есть «потолок» его возможностей?

Оказывается, можно придумывать всяческие ухищрения для улучшения оптического микроскопа, но переступить границу его возможностей нельзя.

Оптический микроскоп не позволяет видеть предметы, размеры которых меньше двух десятитысячных долей

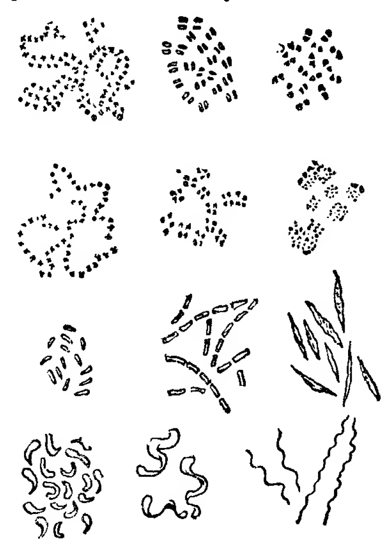


Рис. 7. Так выглядят различные бактерии под оптическим микроскопом.

миллиметра. И, как это ни странно, препятствием для дальнейшего увеличения является... сам свет. Тот самый свет, который позволяет нам видеть окружающий мир!

В чём же здесь дело? Ведь мы знаем, что видеть предметы мешает темнота, а вовсе не свет.

Но это верно, если говорить о видимости больших предметов или о частицах, размером более чем две десятитысячные доли миллиметра.

Частицы же ещё более мелкие нельзя увидеть даже в самый лучший оптический микроскоп.

Чтобы понять причину этого, вспомним, что такое световые лучи.

Бросьте в воду камень. От места его падения кругами разойдутся волны.

Расстояние между верхушками (гребнями) этих кругов называют длиной волны.

Волны бывают разной длины. Например, в море во время бури расстояние между двумя соседними гребнями волн доходит до 200 метров. Высота их, от гребня до впадины, достигает нередко высоты трёхэтажного дома, а движутся они со скоростью пассажирского поезда.

Кроме водяных волн в природе существует много других.

Радиоволны, которые мы не видим и не слышим, но которые существуют так же реально, как волны в воде или в воздухе. Обнаружить их можно с помощью радиоприёмника.

Невидимые ультрафиолетовые лучи и лучи Рентгена, с помощью которых «просвечивают» человеческое тело,— это тоже волны.

Такую же волновую природу имеет и свет. Он также распространяется волнами. Свет — это особые, так называемые электромагнитные волны.

Когда распространяется электромагнитная волна, то в каждой точке пространства возникают периодические изменения — колебания электрических и магнитных сил, происходит как бы их волнообразное колебание с образованием «гребней» и «впадин».

Величина световых волн очень мала. Так, длина волны красных лучей составляет всего около семи десятитысячных долей миллиметра, то-есть, говоря иначе, около 0,7 микрона (микрон — одна тысячная миллиметра). А длина волны у жёлтых, зелёных и синих лучей ещё короче. Из лучей видимого света наименьшей длиной волны обладают фиолетовые лучи: длина их волн — около 0,4 микрона.

Волны невидимых ультрафиолетовых и рентгеновых лучей ещё меньше.

У электромагнитных радиоволн, наоборот, длина колеблется в пределах от десятков сантиметров до тысяч метров.

Известно, что в однородной среде свет распространяется прямолинейно. Однако, когда лучи света проходят

сквозь очень мелкие отверстия или около предметов, размеры которых очень малы, свет их огибает; прямолинейное распространение света нарушается.

Это явление называют диффракцией.

Диффракцию можно наглядно видеть у водяных волн. Представьте себе волнующееся море или озеро. По поверхности воды ровными валами бегут волны. Когда на пути волны встречается большой камень, возвышающийся

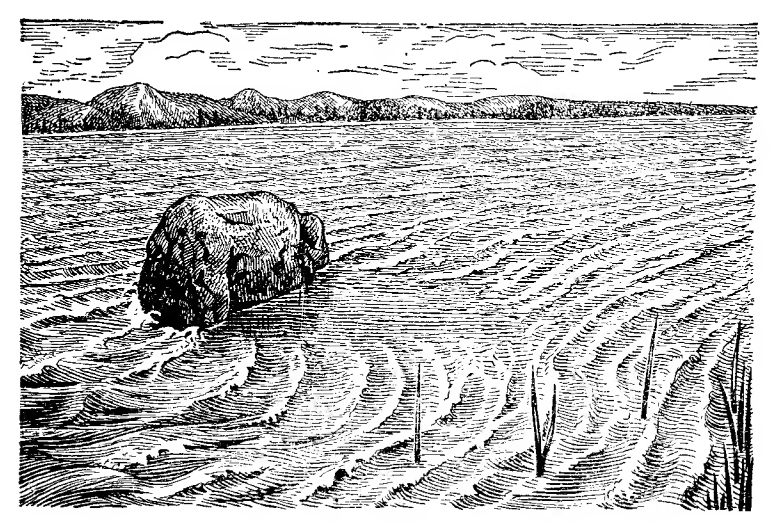


Рис. 8. Диффракция водяных волн.

над поверхностью воды, волны ударяются о него и откатываются назад (рис. 8).

Так волны ведут себя только в тех случаях, если размеры камня значительно больше, чем расстояние между гребнями двух соседних волн (т. е. больше, чем длина волны).

Но вот на пути волн — камень поменьше. Размеры его меньше длины волны. Такой камень вóлны огибают и идут дальше, словно на их пути ничего нет.

Так же ведут себя и световые волны.

Вот по этой-то причине и нельзя разглядеть в оптический микроскоп очень мелкие предметы. Если детали предмета порядка длины световых волн, то при этом пря-

молинейный ход световых лучей нарушается и правильного изображения предмета мы не можем получить. Мы не сможем рассмотреть и мелкие детали этого предмета — они будут сливаться.

Чтобы построить микроскоп, в который можно было бы видеть частицы размером меньше двух десятитысячных долей миллиметра, нужны какие-то другие волны, короче световых. Их длина должна быть меньше, чем размеры частиц, которые мы хотим рассматривать. Например, чтобы увидеть молекулы, нужны волны, в сотни раз более короткие, чем волны видимого света. Для этой цели были использованы мельчайшие частицы материи — электроны.

3. ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛУЧИ И КАК ИМИ УПРАВЛЯЮТ

Электроны — это электрически заряженные частички очень малых размеров. Они входят в состав атомов, из которых состоят все окружающие нас тела. Таким образом, электроны находятся всюду — в воде и в воздухе, на земле и на звёздах, в любом веществе.

Уже давно человек научился использовать электроны для своих целей. Двигаясь по проводам, электроны дают нам электрический свет, приводят в движение различные машины. Электроны работают в усилительных лампах радиоприёмников и телевизоров.

С помощью этих же электронов получают многократное увеличение различных тел. Прибор, в котором используются потоки электронов — электронные лучи,— и называется электронным микроскопом.

Электронный микроскоп позволяет увеличивать изображение предметов не в 2000—3000 раз, как это делает оптический микроскоп, а в десятки и сотни тысяч раз!

Невооружённым глазом с трудом можно различить две точки, расстояние между которыми равно 0,1 миллиметра. Оптические микроскопы дают возможность различить две точки, расстояние между которыми составляет 0,0002 миллиметра. А с помощью электронного микроскопа можно исследовать предметы, крайние точки кото-

рых расположены друг от друга всего на 0,0000001 миллиметра! Так велика «разрешающая сила» электронного микроскопа.

Однако прежде всего возникает вопрос, каким же образом можно получать изображения предметов с помощью электронов? Ведь лучи электронов — это поток мельчайших частичек. Оказывается, это можно сделать

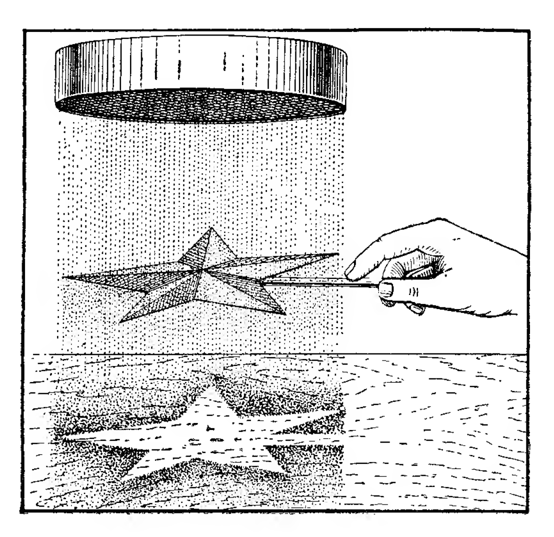


Рис. 9. Теневое изображение предмета можно получить с помощью потока мелких частиц.

довольно просто. Взгляните на рисунок 9. На нём показано, как образуется теневое изображение небольшой звёздочки с помощью потока каких-нибудь мелких частичек, например песчинок.

Конечно, для того чтобы получить таким путём чёткое теневое изображение звёздочки или какого-нибудь другого предмета, необходимо, чтобы размеры частиц были намного меньше размеров предмета. Только при этом получится правильное изображение предмета.

Но как раз электроны-то и являются для этого очень подходящими частицами. Ведь размеры их очень и очень малы: они в десятки тысяч раз меньше атомов.

Но как же тогда можно использовать электроны для получения теневых изображений? Ведь сами-то электроны невидимы.

И это затруднение можно преодолеть. Во-первых, электронные лучи действуют на фотографические пластинки; они оставляют на них, как и лучи света, свои следы. Кроме того, можно создать своеобразные «искусственные глаза», которые «видят» электронные лучи так же хорошо, как человеческие глаза видят лучи света.

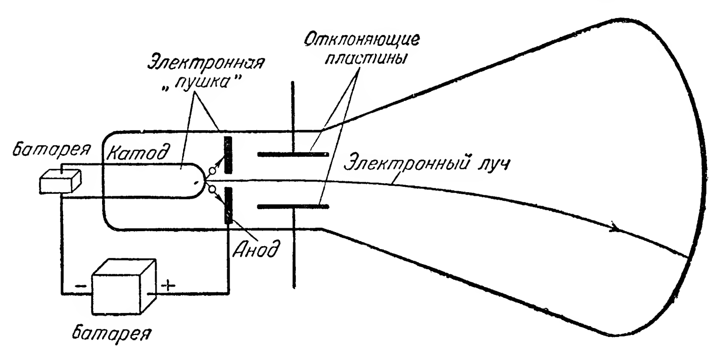


Рис. 10. Упрощённая схема электронно-лучевой трубки — физического прибора для получения электронных лучей и управления ими.

Это — пластинка, покрытая сернистым цинком или минералом виллемитом, которые светятся под действием ударяющихся о них электронов.

Для получения управляемого потока электронов существует специальная так называемая электронно-лучевая трубка. Схема её приведена на рисунке 10.

Электроны вылетают из небольшого кусочка тонкой вольфрамовой проволочки, которую накаливают электрическим током. Как известно, в металлических телах всегда имеются электроны, не связанные с атомами. Эти свободные электроны и вылетают из металла наружу, если только его нагреть до высокой температуры.

Металлическая проволочка, из которой вылетают электроны, соединена с отрицательным полюсом специальной батареи и заключена в металлический цилиндр с отверстием. Таким образом, она является катодом. Положительный полюс батареи соединён с металлической пла-

стинкой, имеющей посередине отверстие; пластинка служит анодом. Вся эта установка называется электронной «пушкой».

Отрицательно заряженные частицы — электроны,— вылетая из нагретой проволочки — катода,— с большой скоростью устремляются к аноду. При этом часть электронов пролетает через отверстие в аноде. Так получают поток электронных лучей.

Когда они падают на дно трубки, дно начинает светиться. Это происходит потому, что дно покрывают особыми веществами, светящимися под ударами электронов. К таким веществам, как уже говорилось, относится, например, сернистый цинк.

Яркость свечения дна электронно-лучевой трубки зависит от числа и от скорости падающих электронов. Чем больше электронов попадает в какое-то место дна трубки, тем ярче светится оно.

Если на пути потока электронов поместить какой-либо предмет, задерживающий электроны, то на дне-экране трубки возникнет теневое изображение этого предмета.

Но можно получать изображения с помощью электронов и другими путями. Электронные лучи, подобно свету, могут отражаться и преломляться. Они поглощаются веществами, а также проходят через тонкие слои твёрдых тел. Используя эти свойства электронных лучей и можно получать увеличенные изображения мельчайших предметов.

— Но ведь для этого нужны какие-то линзы! — скажете вы.

Правильно, нужны. И такие линзы,— преломляющие электронные лучи,— есть.

Конечно, это не простые стеклянные линзы, какие применяются в обычном оптическом микроскопе. Они совсем на них и не похожи. Но они отлично преломляют электронные лучи и собирают их в пучки, подобно тому, как увеличительное стекло преломляет и собирает световые лучи в одну точку.

В чём же принцип устройства электронных линз?

Электронные лучи отклоняются электрическими и магнитными силами, или, как принято говорить, электриче-

ским и магнитным полем. Этим и пользуются в электронных линзах.

Существуют магнитные электронные линзы и линзы электростатические.

Магнитные электронные линзы представляют собой магнитное поле, создаваемое проволочной катушкой. Когда по виткам катушки проходит электрический ток,

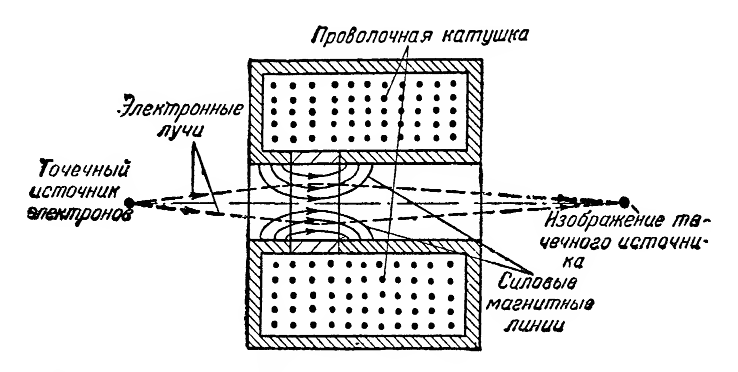


Рис. 11. Схема устройства одного из типов магнитной электронной линзы.

создаётся сильное магнитное поле. Это поле и воздействует на поток электронов, быстро летящих внутри катушки. Оно собирает расходящийся пучок электронных лучей в одну точку, подобно тому, как стеклянная линза собирает лучи света (рис. 11).

А вот как действует на электроны электрическое поле.

На рисунке 10, где изображена электронно-лучевая трубка, на пути электронного луча показаны так называемые отклоняющие пластины. Когда пластины соединены с источником тока — одна с положительным полюсом, а другая с отрицательным,— то между ними возникает электрическое поле. Оно действует на электронный луч так, что путь летящих электронов меняется, электронный луч как бы преломляется.

Если же взять две пары таких пластин, то они будут действовать на электронные лучи подобно тому, как действует увеличительное стекло на лучи света.

В электростатических электронных линзах электронный луч пропускают не между пластинами, а сквозь них — через специальные отверстия. При этом электронные лучи преломляются так же, как свет в стеклянной линзе.

4. ЭЛЕКТРОННЫЕ МИКРОСКОПЫ

Первые электронные микроскопы были так называемые эмиссионные. В них можно было рассматривать только такие предметы, которые сами могли служить источни-

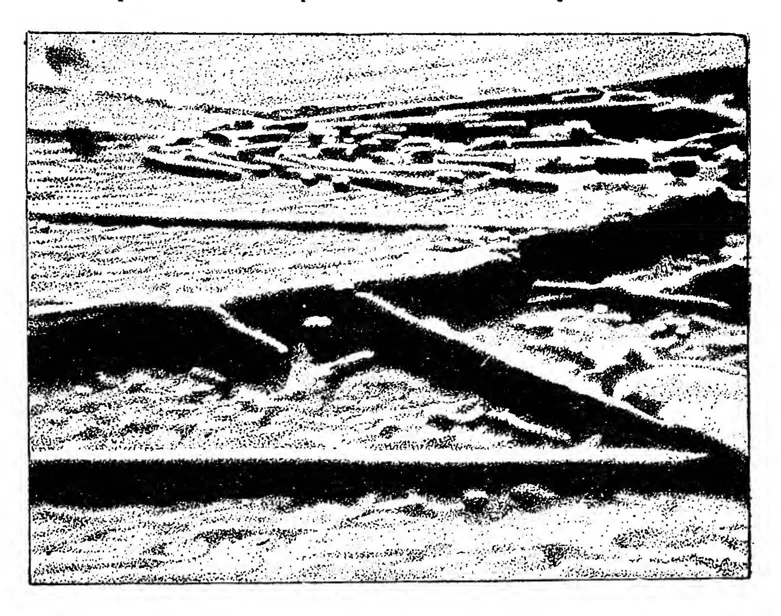


Рис. 12. Так выглядит поверхность стали в отражательном электронном микроскопе.

ками электронов. Такие микроскопы могли применяться, например, для изучения поверхности различных металлов.

Позднее были созданы приборы, в которых используется специальный источник электронов. Предмет рассматривается либо в проходящих, либо в отражённых электронных лучах. Соответственно с этим такие элек-

тронные микроскопы называются просвечивающими или отражательными.

Принцип работы этих микроскопов заключается в следующем. Электроны по-разному отражаются от той поверхности, на которую они падают. Характер этого отражения зависит от характера строения поверхности

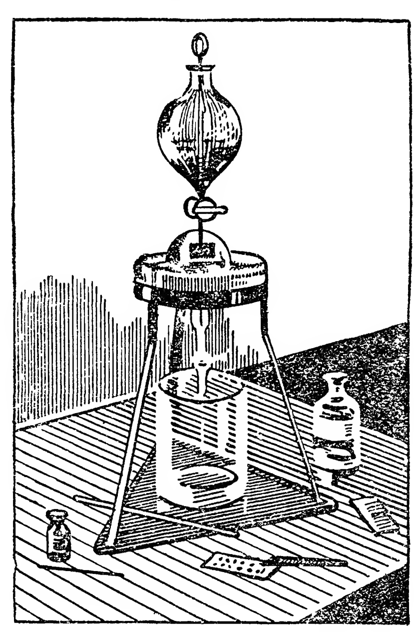


Рис. 13. Прибор для нанесения коллодиевой плёнки.

рассматриваемого предмета. Электроны, отразившиеся от поверхности, направляются в электронные линзы, и мы видим эту поверхность сильно увеличенной (в 10 000 раз). На рисунке 12 показано, как выглядит поверхность стали при рассматривании её в отражательный электронный микроскоп.

В просвечивающих электронных микроскопах изображение получается иным путём.

В этом случае рассматриваемый предмет помещают на тонкую плёнку (обычно из коллодия). При этом

электронные лучи проходят через плёнку и через рассматриваемый предмет по-разному. Падая на плёнку и на предмет, электроны рассеиваются, то-есть, проходя через вещество, изменяют направление своего движения, разлетаются во все стороны под разными углами. Только часть пролетевших через плёнку и рассматриваемый предмет электронов проходит «напрямую», не изменяя или мало изменяя начальное направление своего полёта. Именно эти электроны и создают изображение.

Но одинаково ли будет рассеивание электронов в разных местах вещества? Нет. Электронные лучи рассеиваются тем больше, чем толще слой вещества. Чем тоньше плёнка, тем больше электронов проходит «напрямую».

Если на плёнке находится какой-то объект, скажем бактерия, которую мы рассматриваем, то в этом месте рассеяние электронов будет бо́льшим, чем там, где находится только одна плёнка. Поэтому электроны, прошедшие более толстые места вещества, дадут менее яркое пятно. А электроны, прошедшие только через плёнку, дадут пятно более яркое.

Таким же образом через разные места рассматриваемого предмета будет проходить разное количество электронов. А это и даёт изображение предметов.

В электронном микроскопе, работающем в проходящих электронных лучах, можно изучать и такие объекты, как, например, поверхности металлов. Вот как это делается.

На кусочек металла наносят тончайший слой специального лака. Лак высыхает, и его плёнка плотно прилипает к металлу. Образовавшуюся плёнку с большими предосторожностями отделяют; при этом на ней запечатлевается строение поверхности металла. Такая работа требует очень большого искусства.

Лаковая плёнка — это как бы маска, снятая с «лица» металла. Рассматривая её в электронном микроскопе, мы видим точное отображение поверхности металла.

На рисунке 14 дана схема действия просвечивающего электронного микроскопа с магнитными линзами.

Первая линза — её называют конденсорной (такая же линза есть и в оптическом микроскопе) — собирает элек-

троны, летящие из электронной «пушки», в узкий пучок и направляет их на рассматриваемый предмет.

Пройдя сквозь изучаемое тело, электроны попадают во вторую магнитную линзу. Эта линза называется объ-

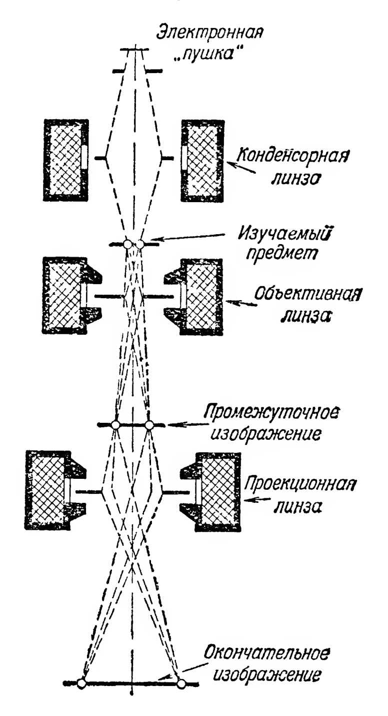


Рис. 14. Упрощённая схема действия электронного микроскопа с магнитными линзами.

ективной. Она даёт первое сильно увеличенное изображение предмета.

Третья магнитная линза — проекционная — увеличивает изображение ещё больше.

Из проекционной линзы электроны попадают на фотопластинку или на экран, покрытый веществом, светящимся под ударами электронов.

Перед нами возникает изображение предмета, увеличенное в десятки и сотни тысяч раз.

Во время работы электронного микроскопа вакуумный насос всё время выкачивает из прибора воздух, который мешает полёту электронов и искажает изображение предметов.

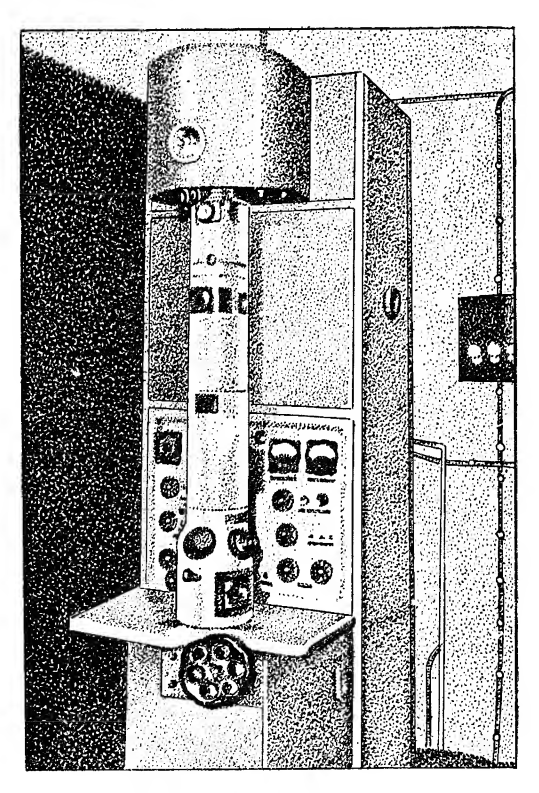


Рис. 15. Внешний вид одного из типов советского электронного микроскопа с магнитными линзами.

Схема работы электростатического электронного микроскопа примерно такова же, что и у магнитного.

На рисунке 15 показан внешний вид одного из типов советского электронного микроскопа с магнитными линзами. Все основные части микроскопа размещены

внутри колонны. Вверху находится электронная «пушка». Под ней расположена конденсорная линза, направляющая электронный поток на исследуемые образцы. Ниже находится камера образцов с предметным столиком. Ещё ниже — объективная линза, дающая первое увеличение.

На маленьком экранчике можно наблюдать это увеличенное изображение предмета. И ещё ниже находится проекционная линза, увеличивающая первое изображение.

Под проекционной линзой расположен экран. Тут же укреплено устройство для смены фотопластинок. По желанию можно либо наблюдать изображение предметов, либо его фотографировать.

Под колонной электронного микроскопа установлен вакуумный насос, высасывающий из неё воздух. Но этот насос создаёт лишь предварительный вакуум. Ему помогает другой — диффузионный масляный насос. Он выкачивает остатки воздуха из колонны, доводя разрежение до одной десятитысячной миллиметра ртутного столба (миллионные доли атмосферного давления).

В передней части колонны микроскопа расположены смотровые окошечки, через которые рассматривают изображения, которые получаются на экранах.

Через окошечко, которое находится над проекционной линзой, рассматривают первое увеличенное изображение. Им пользуются для грубой наводки, как в видоискателе фотоаппарата. В нижней части прибора расположено большое смотровое окно. Через него обоими глазами рассматривают изображение, увеличенное в десятки тысяч раз.

Создание электронных микроскопов — технически сложное дело. В Советском Союзе в настоящее время освоено производство различных типов этих замечательных приборов.

Лучшие современные образцы электронных микроскопов дают в 100 раз большее увеличение по сравнению с оптическими.

Конечно, и электронный микроскоп также имеет свой «потолок», который объясняется теми же причинами, что

и у оптического микроскопа. Как оказывается, между световыми волнами и потоком электронов много общего; электронные лучи также обладают волновыми свойствами, в том числе свойством диффракции.

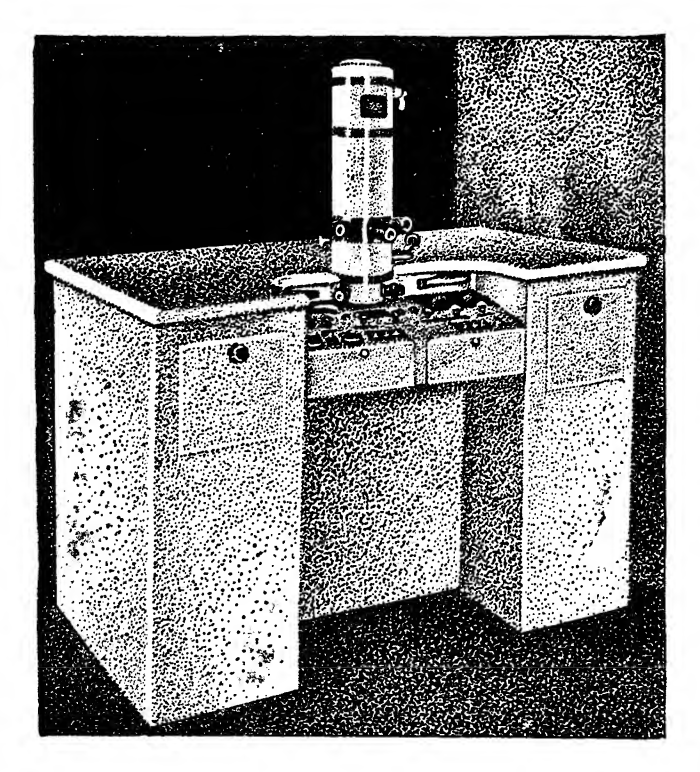


Рис. 16. Малогабаритный электронный микроскоп, разработанный Н. Г. Сушкиным, П. В. Зайцевым и О. Н. Рыбаковым.

Над совершенствованием электронных микроскопов работает большой отряд советских учёных. Ещё в 1946 году за создание первого советского электронного микроскопа были отмечены Сталинской премией академик А. А. Лебедев, физик В. Н. Верцнер и инженер-конструктор Н. Г. Зандин.

Позднее были созданы так называемые малогабаритные электронные микроскопы (рис. 16) и универсальный

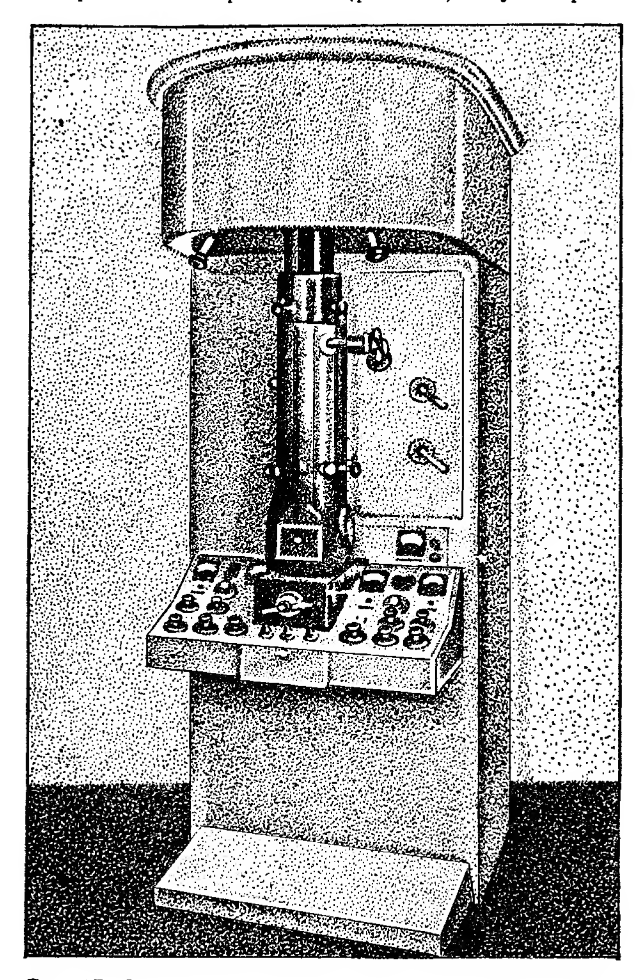


Рис. 17. Советский универсальный электронный микроскоп с магнитными линзами.

магнитный микроскоп (рис. 17), сочетающий в себе эмиссионный, просвечивающий и отражательный микроскопы.

На рисунке 18 изображён электростатический электронный микроскоп.

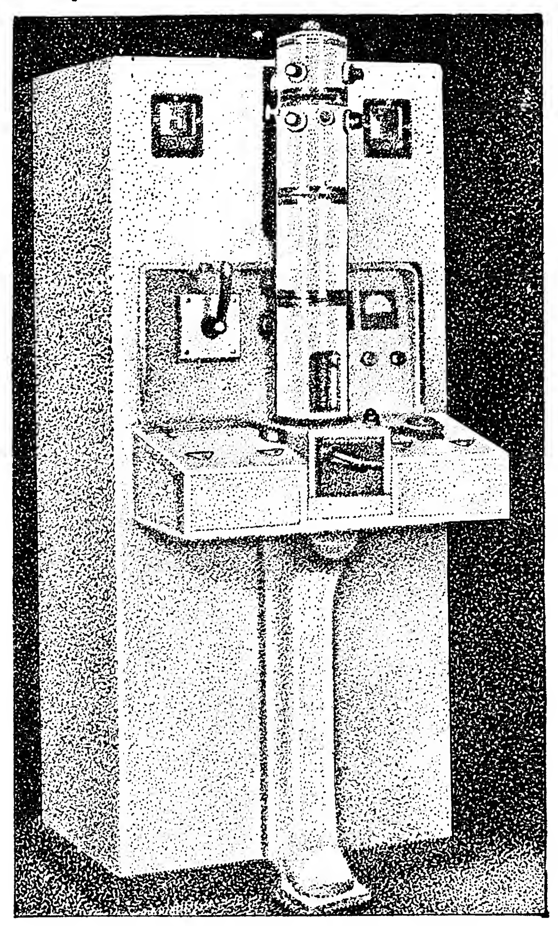


Рис. 18. Внешний вид электростатического электронного микроскопа.

Малогабаритные электронные микроскопы по своим размерам значительно меньше других ранее разработанных приборов. Как видно из рисунка 16, колонна микроскопа (высота её не превышает 30 сантиметров) установ-

лена на стенде, который напоминает по своему виду и размерам обычный письменный стол. У этого типа малогабаритного микроскопа электронная «пушка» помещена в нижней части колонны, а фотокамера и экран — в верхней. Он даёт увеличение в 15—20 тысяч раз, что вполне достаточно для многих исследований.

Все электронные микроскопы требуют для своей работы питания электрическим током высокого напряжения — в 50 — 100 тысяч вольт и более.

Где же можно применять электронный микроскоп? Какие научные и практические вопросы можно решать, пользуясь этим замечательным прибором?

Область применения электронного микроскопа очень велика. Он помогает человеческому взору проникать в самые сокровенные тайники природы и использовать знания, полученные этим путём, для открытий в самых разнообразных отраслях науки и техники. Остановимся на некоторых примерах использования электронного микроскопа.

5. В БОРЬБЕ С МИКРОБАМИ И ВИРУСАМИ

Весной, когда появляются мухи, часто возникают вспышки весьма опасной болезни — дизентерии. Оказывается, мухи переносят на своих лапках миллионы дизентерийных микробов. Когда микробы попадают вместе с пищей в человеческий организм, человек заболевает.

Кишечный канал больного дизентерией покрывается трудно заживающими язвами, резко повышается температура, появляются сильные боли в области живота. В тяжёлых случаях болезнь может оказаться смертельной.

В оптический микроскоп удалось увидеть возбудителя дизентерии. Это — палочка ничтожных размеров. Для борьбы с ней пробовали всевозможные средства, но ни одно из них не давало быстрого и надёжного результата.

Но однажды один учёный микробиолог, делая опыты с разведением возбудителей дизентерии, случайно заметил, что по временам эти микробы бесследно исчезают из его стеклянных пробирок.

Ещё вчера пробирка с питательной средой кишела ядовитыми палочками, а сегодня она совершенно чиста от них.

Учёные терялись в догадках: куда могли деваться микробы?

Было высказано предположение, что микробов уничтожает какое-то неизвестное вещество, попавшее в питательную среду. Оно как бы пожирало их и поэтому было названо бактериофаг, что по-русски означает «пожиратель бактерий».

Но что же это было — мёртвое, неорганическое соединение сложного химического состава или живые существа, которые проглатывали и пожирали дизентерийных микробов?

Под обычным оптическим микроскопом можно было хорошо разглядеть дизентерийного микроба, но бактериофаг был совершенно невидим.

Многие учёные были твёрдо убеждены, что бактериофаг — это не химическое вещество, а живое существо, пожирающее микробов. Не видно же его в оптический микроскоп только потому, что оно гораздо меньших размеров, чем обычные бактерии.

Когда был создан электронный микроскоп, учёным удалось увидеть бактериофагов.

В поле зрения электронного микроскопа пожиратели микробов выглядят круглыми шариками с тоненькими хвостиками. Длина хвостика бактериофага немногим больше стотысячной доли миллиметра, а тельце ещё меньше.

Быстро устремляются крошечные бактериофаги к дизентерийным микробам (рис. 19). Одни из них жадно впиваются в тело бактерии и проникают внутрь, другие осаждают её со всех сторон, точно стая гончих псов, обкладывающих огромного зверя. Проникнув внутрь микроба, бактериофаги быстро вызывают его распад (рис. 20).

Есть предположение, что бактериофаги, выделяя особые вещества — ферменты, как бы растворяют тело микроба.

Мы уже говорили о том, что до изобретения электронного микроскопа учёные не могли обнаружить воз-

будителей некоторых заразных болезней — таких, как грипп, корь и другие. Учёные терялись в догадках. «Может быть,— думали они,— мы напрасно ищем то, чего нет? Может быть, болезни, возбудителей которых

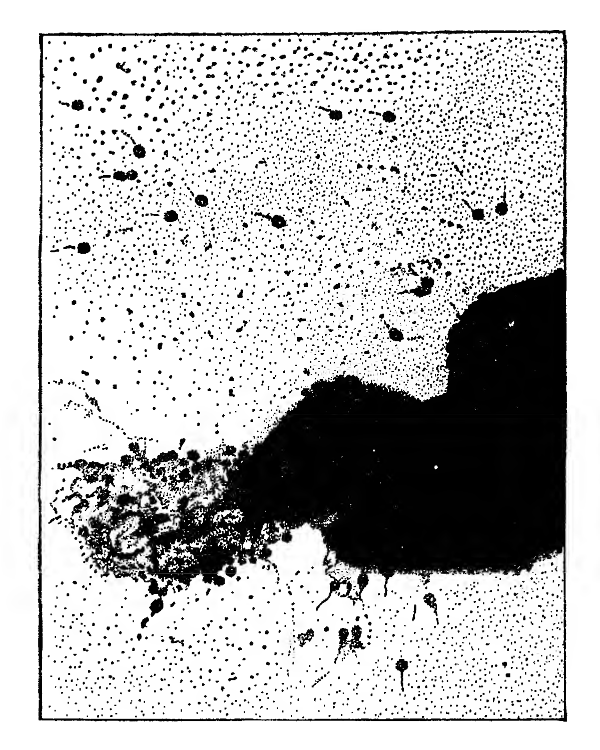


Рис. 19. Нападение бактериофагов на дизентерийную бактерию.

мы не можем найти, вызываются какими-то другими причинами?».

Русский учёный Д. О. Ивановский был не согласен с таким мнением. Он упорно искал невидимых возбудителей болезней.

Ивановский был не врачом, а ботаником. Всю жизнь он занимался изучением растений. Когда в 90-х годах

прошлого столетия в Крыму появилась болезнь, которая погубила большие посевы табака, Ивановский, тогда ещё совсем молодой учёный, был послан в Крым для изучения этой болезни, носившей название «табачная мозаика».

Прибыв на место, он произвёл множество опытов, но возбудителя заболевания ему обнаружить не удалось.

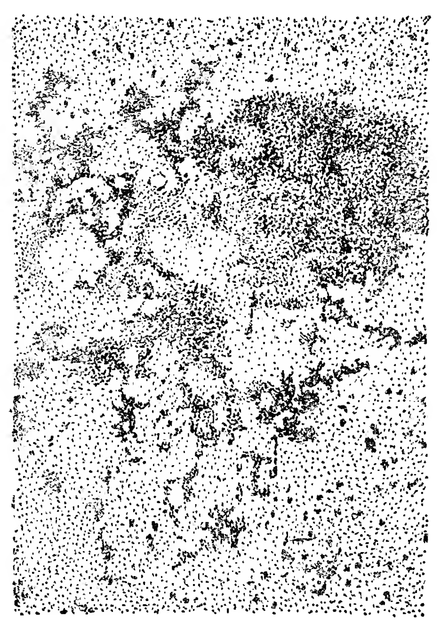


Рис. 20. Вид бактерии дизентерии через полчаса после того, как бактериофаги её атаковали.

Тогда Ивановский предположил, что заболевание растений вызывается токсинами — ядами, которые выделяют бактерии.

Прервав на время поиски микроба «табачной мозаики», он решил заняться этими ядами. Ему было известно, что токсины можно отделить от бактерий, процедив раствор, в котором находятся те и другие, через особый мелкопористый фарфоровый фильтр.

Учёный растёр несколько больных «мозаикой» листьев табака в кашицу и разбавил её водой. Потом он пропустил полученный раствор через фильтр, не пропускающий бактерий.

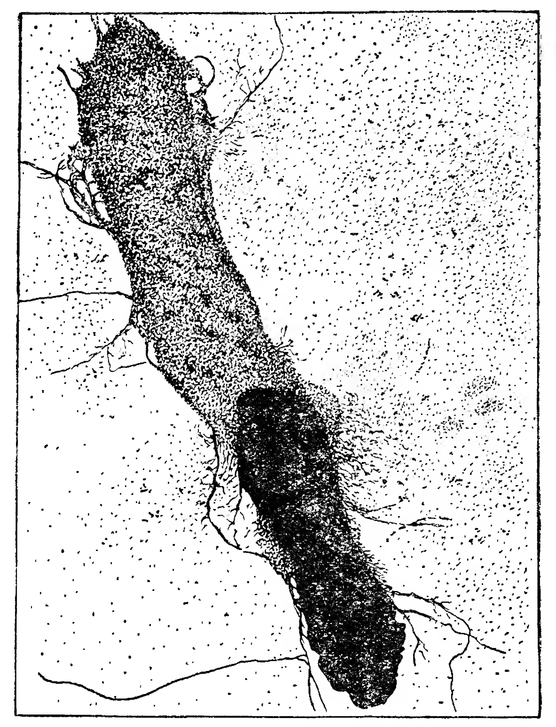


Рис. 21. Этот снимок в электронном микроскопе показывает, как бактерия покидает свою оболочку.

После того, как опыт был проделан, Ивановский впрыснул изрядную дозу профильтрованной жидкости в совершенно здоровое растение. Оно заболело.

Из этого можно было заключить, что в соке больного растения в самом деле содержится какой-то токсин, способный вызвать заболевание.

Но токсин ли это?

Ивановский повторил опыт. Он растёр в кашицу листья вновь заболевшего растения, опять профильтровал

полученную жидкость и впрыснул её в стебель другого здорового растения.

И это растение заболело, причём ещё скорее, чем первое.

Тогда учёный принялся переносить заболевание от одного растения к другому. Ведь токсин (если это был он)

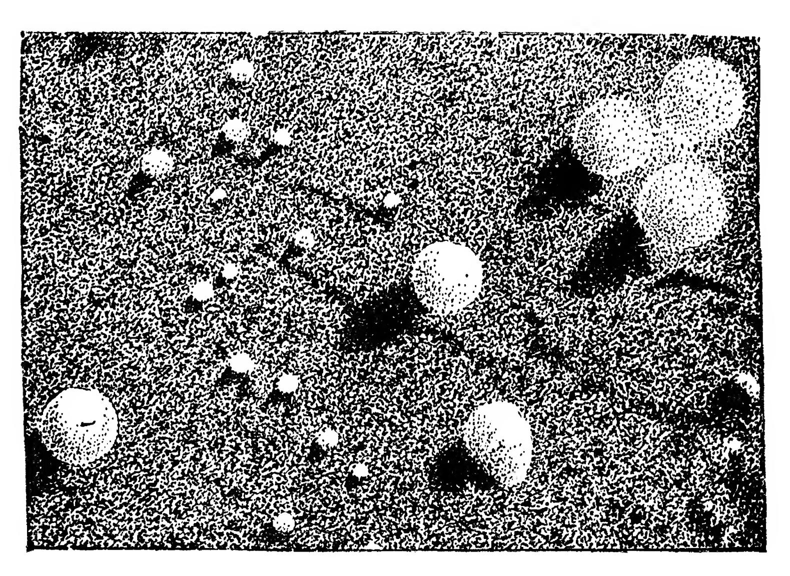


Рис. 22. Вирусы гриппа в электронном микроскопе.

каждый раз разбавлялся соком следующего растения. С каждой прививкой его должно было становиться всё меньше и меньше.

В конце концов токсин должен был оказаться настолько разбавленным, что уже не смог бы вызвать у растений заболевания.

Однако в действительности получалось обратное. Сок больных растений всё время как бы усиливал свою способность вызывать заболевание, становился всё более ядовитым. Значит это не токсин, решил Ивановский, а какие-то мельчайшие микробы, которые проникают сквозь поры фильтра и беспрепятственно размножаются. Они были названы ультравирусами.

Учёные-микробиологи не сразу поверили в это открытие, но Ивановский целой серией блестящих опытов подтвердил свою гениальную догадку.

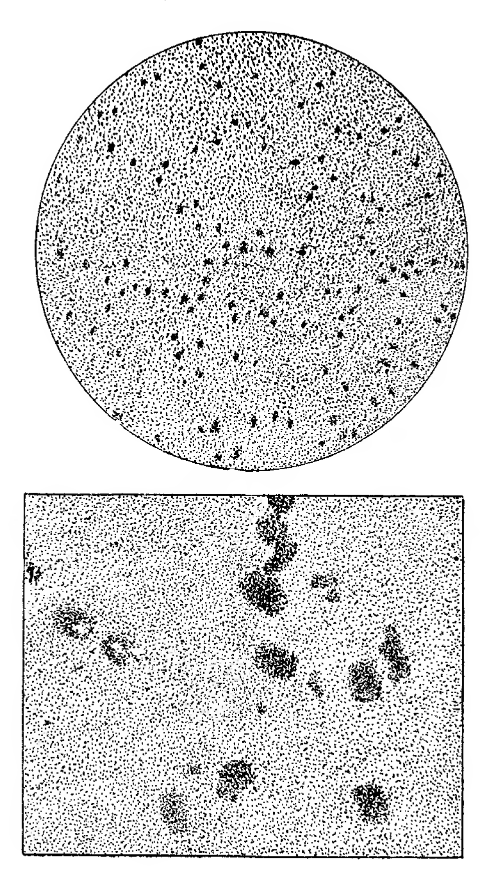


Рис. 23. Так выглядят элементарные тельца оспы в оптическом (вверху) и в электронном (внизу) микроскопах.

Однако увидеть ультравирусы Ивановскому так и не удалось. Самые лучшие оптические микроскопы были бессильны проникнуть в мир вирусов.

Открытых русским учёным мельчайших возбудителей болезней люди увидели только тогда, когда был создан электронный микроскоп.

Применённый для исследования природы микробов и вирусов электронный микроскоп дал возможность

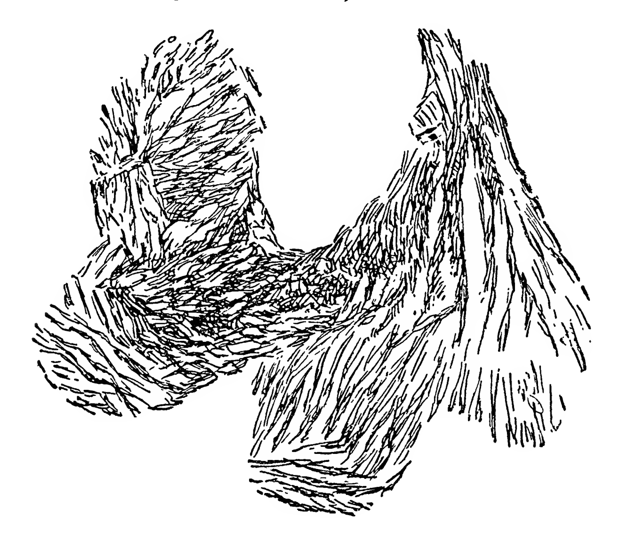


Рис. 24. Вирусы мозаичной болезни табака при увеличении в 20 000 раз.

проследить их рост и развитие. Исследователи узнали, как питаются, размножаются и умирают бактерии. А зная во всех подробностях особенности существования бактерий, учёным стало легче находить способы их быстрейшего уничтожения, так как появилась возможность изучать воздействие на микробов различных лекарственных средств.

Иногда думают, что грипп — лёгкое, быстро проходящее заболевание. Но это не так. В 1919—1920 гг. эпидемия гриппа (испанки) охватила весь мир. Она пронеслась по земному шару и унесла в могилу около двадцати миллионов человеческих жизней. Это была тяжёлая форма гриппа, вызванная чрезвычайно ядовитыми вирусами.

С помощью электронного микроскопа вирусы гриппа были обнаружены. Они имеют форму шариков (рис. 22). Удалось даже измерить их величину. Диаметр их равен примерно 80 миллимикронам, то-есть 8 стотысячным долям миллиметра.

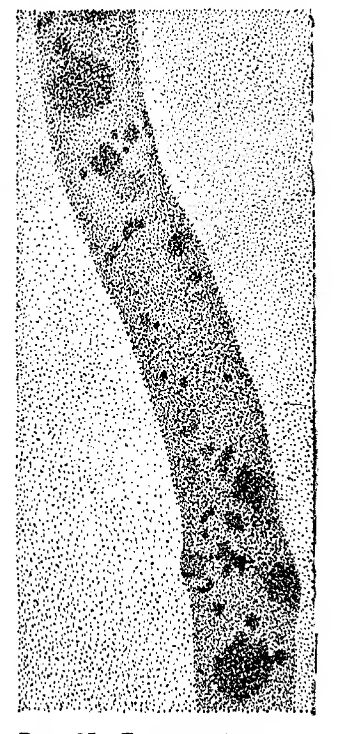


Рис. 25. Туберкулёзная палочка выглядит гигантом в электронном микроскопе.

В настоящее время наука изыскивает всё новые средства против гриппа. Ожесточённая борьба с вирусом гриппа не прекращается ни на минуту. И огромную помощь в этом оказывает учёным их сверхзоркий помощник — электронный микроскоп.

В электронном микроскопе были изучены вирусы — возбудители многих болезней. Оказалось, например, что вирусы оспы на самом деле не имеют шаровидной формы, как они выглядели в оптическом микроскопе (рис. 23). А зная их истинную форму и размеры, легче стало их обнаруживать.

Вирус, поражающий кур и других домашних птиц, оказался похожим на бактериофаг.

Некоторые вирусы в поле зрения электронного микроскопа оказались палочкообразными. Так выглядит, например, вирус «мозаики» табака (рис. 24). Длина этих палочек около трёх тысячных долей миллиметра, а толщина в двадцать пять раз меньше. Неудивительно, что в оптический микроскоп их не могли увидеть.

Мозаичная болезнь наблюдается не только у табака, но и у хлопчатника, яблони, груши, малины, смородины, винограда. И электронный микроскоп помогает учёным распознавать эту болезнь и бороться с нею, как и с другими страшными болезнями, вызываемыми вирусами.

6. СМЕРТОНОСНЫЕ ИГОЛКИ

На некоторых специальных производствах рабочие иногда заболевали от неизвестных и совершенно непонятных причин. Признаки болезни были странными, непохожими на признаки других заболеваний. Человек бледнел, худел, кашлял кровью. Рентген и другие анализы ничего не показывали. Туберкулёза не было и в помине.

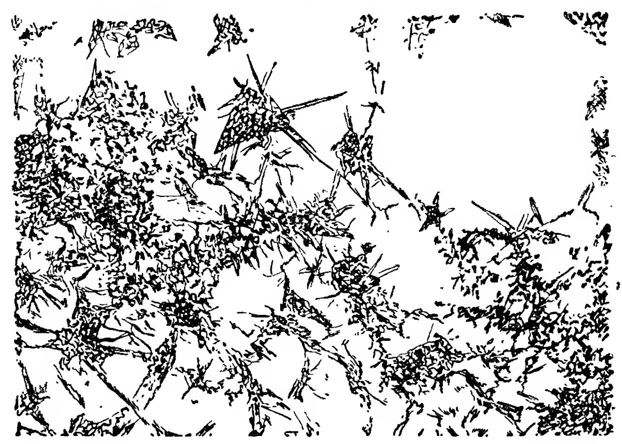


Рис. 26. Частицы дыма окиси цинка при увеличении в 20 000 раз.

Оказалось, что эта странная болезнь вызывается не микробами, а небольшим количеством дыма — мельчайшей пылью металлических окислов,— или минеральными веществами, которые не были видны даже в самые сильные оптические микроскопы. Только с помощью электронного микроскопа удалось увидеть эти вещества и понять, почему они вредно влияют на здоровье рабочих.

В поле зрения электронного микроскопа этот дым выглядел очень красиво. На экране возникали фантастические картины — какие-то дикие заросли, причудливые сплетения кристаллов. И оказалось, что именно этот красивый дым несёт с собой гибель вдыхающим его людям.

Дым окиси магния, как это показал электронный микроскоп, состоит из мельчайших кубических кристаликов, а дым окиси цинка — из игольчатых кристаликов (рис. 26),

Толщина иголочек дыма окиси цинка необычайно мала. В поле зрения электронного микроскопа попадаются иголочки толщиной всего лишь в две миллионных доли миллиметра. При вдыхании они, повидимому, ранят нежную ткань лёгких, попадают в кровеносные сосуды и вызывают заболевание.

Узнав причину болезни, люди научились бороться с нею. Теперь из помещений, где находятся рабочие, особыми вытяжными устройствами полностью удаляют невидимые в обычный микроскоп иголочки дыма окиси цинка и другие ничтожные по своим размерам, но крайне вредные для здоровья вещества.

7. ЗАГАДКА КАТАЛИЗАТОРОВ

В химии часто применяются особые вещества, влияющие на ход химических реакций. Эти вещества называются катализаторами.

Катализаторы ускоряют ход химических реакций, не соединяясь при этом ни с одним из веществ, участвующих в реакции, и оставаясь неизменными. Одним из таких веществ является губчатая платина. Если ничтожный кусочек её поместить в пары́ древесного (метилового) спирта, спирт вспыхивает, будто его подожгли спичкой.

Губчатая платина как катализатор применяется часто в производстве серной кислоты. Смесь двух газов — кислорода и водорода — при комнатной температуре устойчива. Эти вещества не вступают в химическую реакцию друг с другом. Но если в эту смесь газов ввести кусочек катализатора, то произойдёт бурная химическая реакция соединения водорода с кислородом. Реакция сопровождается сильным взрывом, но кусочек платины при этом ничуть не изменяется. Он остаётся таким же, как и до взрыва.

Катализаторы очень распространены в технике и в живой природе. Многие жизненные процессы в организмах человека, животных и растений зависят от действия катализаторов.

Ещё до создания электронного микроскопа было установлено, что на поверхности катализаторов находятся какие-то кристалики, которые и ускоряют ход химических

реакций. Но как рассмотреть эти ничтожные по своим размерам кристаллы, как изучить строение поверхности катализаторов?

Сколько ни бились химики, пытаясь разглядеть эти вещества в обычные оптические микроскопы,— им не удавалось увидеть подробностей их строения.

Электронный микроскоп разрешил и эту задачу. Советским учёным удалось при помощи электронного микроскопа не только хорошо рассмотреть кристалики на поверхности катализаторов, но и проследить процесс их образования и роста. А устанавливая законы роста и взаимного расположения кристаликов, изучая, как влияют на них различная температура и давление, как сказывается присутствие других химических веществ, можно сознательно, а не ощупью, как раньше, создавать всё новые и новые виды катализаторов.

8. НА ЧТО ГОДИТСЯ САЖА

Известно, что на внутренней поверхности печных труб накапливается сажа. Для работы печи сажа вредна. Она засоряет отверстия труб, тяга в них уменьшается. Иногда сажа загорается, вызывая пожары. Казалось бы,— совершенно бесполезное вещество! Но это не так. Сажа — чрезвычайно ценный продукт для резиновой промышленности. Она входит в состав резины. При этом качество резиновых изделий, их долговечность зависят от размера мельчайших частичек сажи и их взаимной связи.

Но частицы сажи настолько ничтожны по своим размерам, что разглядеть подробности их строения в обычный оптический микроскоп невозможно. А не зная размеров частиц, не всегда удаётся получать резину высокого качества.

Но как же определить размер частиц сажи? На помощь снова приходит электронный микроскоп. Он не только определяет размер и взаимное расположение частиц сажи, но и показывает их внутреннее строение.

Электронный микроскоп не ошибётся. Он своевременно установит годность сажи, совершенно точно определит причины брака резины.

Внутреннее строение (структуру) самого каучука, резины и пластмасс также изучают с помощью электронного микроскопа.

Раскрывая особенности строения вещества, электронный микроскоп помогает находить правильные способы его обработки и получать высокое качество продукции.

9. СЕКРЕТ КРАСКИ

Краски имеют большое значение в технике, на производстве и в быту. Почти все вещи, окружающие нас, выкрашены в тот или иной цвет. Окраска придаёт пред-

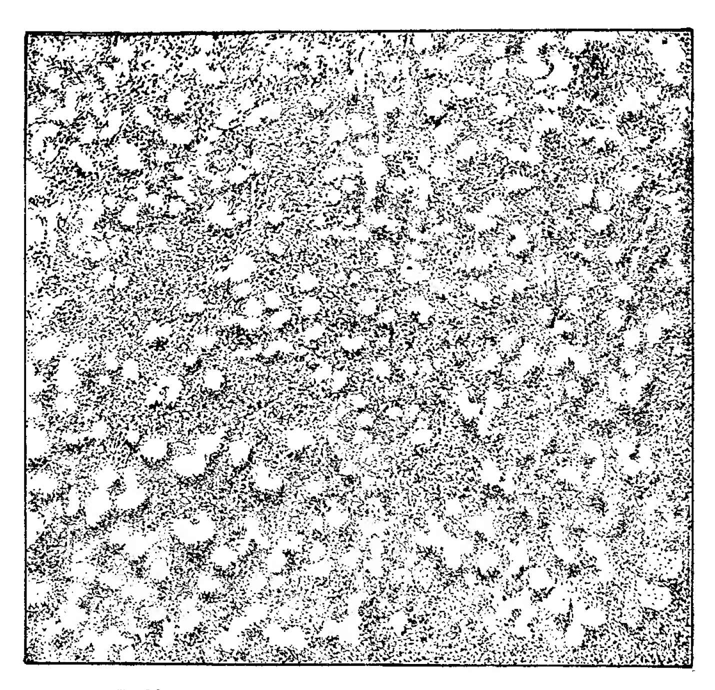


Рис. 27. Молекулы красителя гемоцианина, увеличенные в 45 000 раз.

метам красивый, изящный вид и в то же время имеет большое практическое значение. Она предохраняет многие изделия от разрушающего действия водяных паров,

воздуха и колебаний температуры. Дерево, покрытое тонким слоем краски, не так быстро гниёт, металлы не окисляются.

Однако прочность защитных покрытий во многом зависит от внутреннего строения краски. Иной краской выкрасишь вещь, а через короткое время краска уже потрескалась, покоробилась, шелушится.

Другая же краска, наоборот, отличается большой стойкостью и держится годами, почти не изменяясь.

То же происходит и с красками для материй. Одна краска быстро линяет при первой же стирке, а на другую не действует ни высокая температура воды, ни дождь, ни снег.

Почему же одна краска оказывается хорошей, а другая, и по химическому составу и по внешнему виду иногда совершенно такая же, как и первая, никуда не годится?

Причина этого кроется в структуре (внутреннем строении) краски. Защитные свойства краски, её прочность и устойчивость зависят от размеров отдельных её частичек, от их формы (круглая, кубическая, ромбовидная, игольчатая) и взаимного расположения.

Изучение этой тонкой структуры можно осуществить, только пользуясь электронным микроскопом.

10. ИЗУЧЕНИЕ ГЛИНЫ И ЦЕМЕНТА

Глина — прекрасный строительный материал. Из неё делают кирпичи для постройки жилых домов, заводов и фабрик. Из глины же делают посуду. Из некоторых сортов глинозёма добывают лёгкий и прочный металл алюминий.

Электронный микроскоп с успехом применяется для изучения структуры глины. Пользуясь этим прибором, исследователи увидели, например, что глинистый минерал — каолинит — состоит из очень тонких шестигранных кристаликов.

А зная строение глинистых минералов, удалось научиться правильно их обрабатывать. Были подобраны подходящие давления при прессовании глины, была найдена нужная температура обжига. В результате из глины стали

получать материалы более высокого качества при меньшей затрате технических и денежных средств.

С помощью электронного микроскопа исследуют и другой важный строительный материал — цемент.

От величины и формы частиц цемента, а также от их взаимного расположения зависит прочность зданий, мостов, плотин и многих других бетонных и железобетонных сооружений.

Электронный микроскоп помогает найти правильные приёмы обработки этого ценнейшего строительного материала.

11. О ДИФФРАКЦИОННОЙ РЕШЁТКЕ

Диффракционная решётка — это один из важных физических приборов, применяемых во многих оптических измерениях.

Очень часто диффракционная решётка делается из стекла. На тонкую стеклянную пластинку наносят тончайшие штрихи при помощи очень точных делительных машин. Эти штрихи должны быть строго параллельны друг другу, совершенно одинаковы по начертанию, глубине и находиться на равных расстояниях друг от друга.

На один миллиметр поверхности диффракционной решётки наносится от 1000 до 1500 таких линий. Расстояние между двумя соседними линиями меньше одной тысячной доли миллиметра. Эти тончайшие линии проводят на стекле алмазными резцами.

Но как проверить, правильно ли нанесены эти линии? И здесь на помощь снова приходит электронный микроскоп. Фотоснимки диффракционной решётки при увеличении в 10 000 раз и более помогают определить правильность нанесения штрихов на стекло.

На фотоснимке отчётливо вырисовываются следы работы алмазного резца. Если края линий неровные или угол между ними выдержан неточно, электронный микроскоп укажет на это.

Электронный микроскоп широко применяется для исследования различных стеклянных и фарфоровых изделий. Например, прочность и электрическая устойчивость высо-

ковольтных фарфоровых изоляторов зависит от состава отдельных мельчайших частиц фарфора, от их формы и взаимного расположения. Многие другие изделия из стекла и фарфора также исследуют с помощью электронного микроскопа.

Особенно большое значение имеет точная обработка всевозможных лабораторных приборов, где для получения необходимой точности стекло тщательно шлифуют и полируют.

Как и чем лучше шлифовать и полировать стекло, чтобы на нём не получилось ни единой, даже самой незначительной царапинки? Какой состав порошков (абразивов) нужно выбирать для обработки стекла того или иного сорта? С какой скоростью лучше всего полировать стекло — нужно ли это делать очень медленно или, наоборот, быстро?

На все эти вопросы даёт ответ электронный микроскоп, позволяющий с огромной точностью определить, как и чем лучше обрабатывать стеклянные изделия, предназначенные для тех или иных целей.

12. ПОЖИРАТЕЛЬ ЖЕЛЕЗА

Всякий раз, когда видишь железную мачту высоковольтной линии электропередачи, с которой сошёл защитный слой краски, или изъеденную ржавчиной старую машину, невольно думаешь, как можно защитить металлы от ржавления.

Ржавчина — стойкое химическое соединение железа с кислородом — «съедает» ежегодно многие тонны металла.

Но возьмём другой металл — алюминий. Предмет, сделанный из алюминия, может простоять много лет на открытом воздухе и будет цел.

Чем это объяснить? Почему железо со временем подвергается разъедающему действию кислорода, а алюминий нет?

На этот вопрос дал ответ электронный микроскоп. Оказывается, поверхность алюминия всегда покрыта тончайшей плёнкой окиси, предохраняющей металл от дальнейшего окисления. Причём при рассматривании плёнки

окиси алюминия в электронном микроскопе оказалось, что эта плёнка сплошная, а не пористая. Поэтому она не пропускает кислород в глубь металла и предохраняет алюминий от дальнейшего окисления.

Если же мы посмотрим в электронный микроскоп на железо, покрытое ржавчиной, то увидим совсем другое.

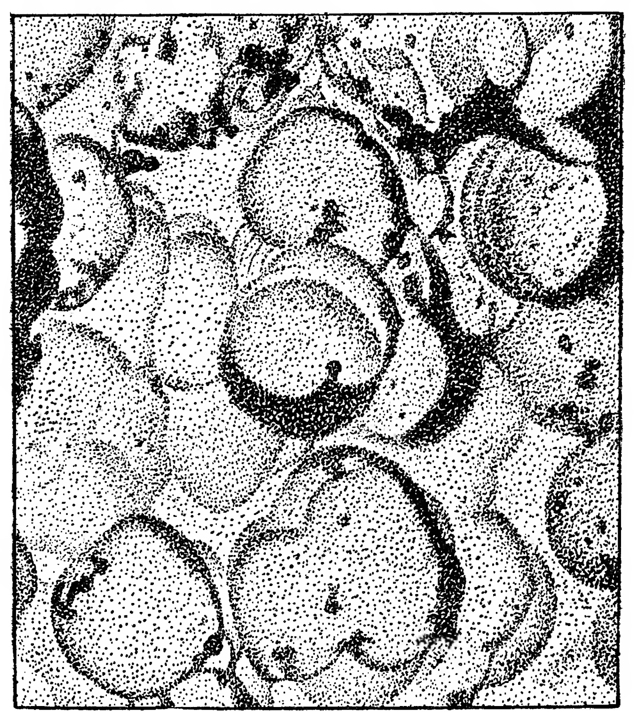


Рис. 28. Изображение поверхности алюминия в электронном микроскопе.

Ржавчина не даёт сплошных плёнок. Между отдельными её кристаликами имеются очень большие поры и трещины. Через них кислород, окисляющий один слой железа за другим, проникает всё глубже в металл.

Узнав причины ржавления железа, советские учёные разрабатывают простые и надёжные способы его защиты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В самых разнообразных областях науки и техники применение электронного микроскопа дало уже весьма ценные результаты.

Электронная микроскопия завоевала себе прочное и почётное место среди новых методов исследования. С помощью электронного микроскопа человек всё глубже и глубже проникает в тайны, которые ещё недавно были скрыты от его глаз (рис. 29).

В биологии электронные микроскопы помогают учёным разбираться в строении нервной системы и мозговых тканей, изучать законы нервного возбуждения.

Электронный микроскоп помогает изучать строение белка, этого изумительного по своим свойствам вещества. Изучение белковых молекул, условий их образования, жизни и распада, ещё ближе придвинет учёных к решению одной из самых великих загадок природы — сущности жизни.

Как зародилась жизнь на нашей Земле? Как искусственно создать белковое вещество? Решить все эти важные вопросы поможет исследователям электронный микроскоп.

В микробиологии электронный микроскоп позволяет подробнее изучать микробов, вредных для человека, животных и растений, и находить средства для их уничтожения.

В медицине электронный микроскоп помогает исследователям находить новые средства борьбы с заболеваниями.

Этот замечательный прибор поможет изучить процесс старения организма и изыскать действенные средства продления жизни.

В физике электронный микроскоп раскрывает многие загадки строения вещества. Учёные, вооружённые электронным микроскопом, ещё дальше проникают в мир атомов и молекул.

Изучение с помощью электронного микроскопа законов образования и роста кристаллов различных металлов и сплавов даёт возможность создавать новые сплавы высокой прочности и долговечности.

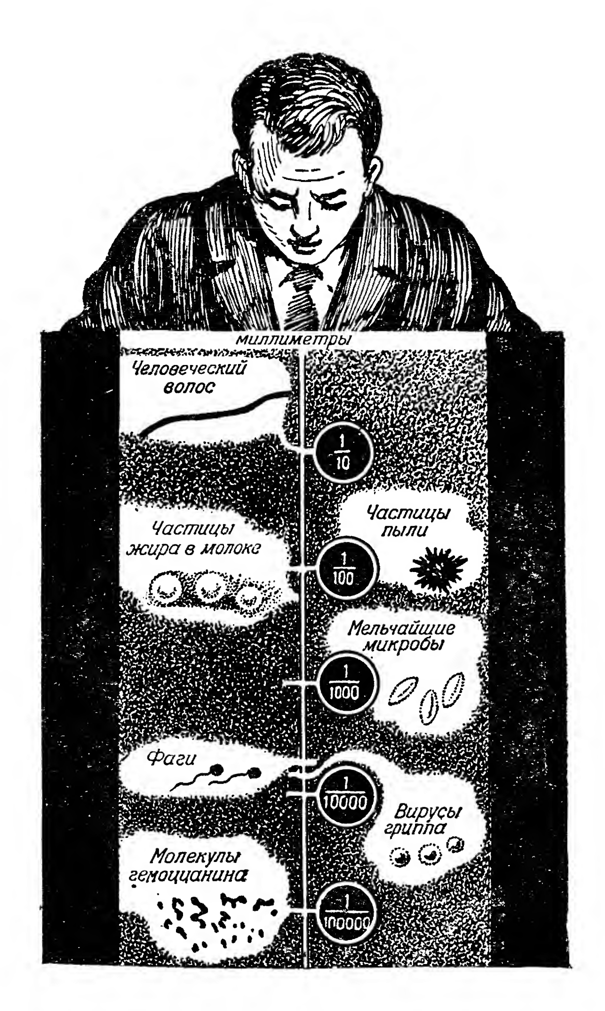
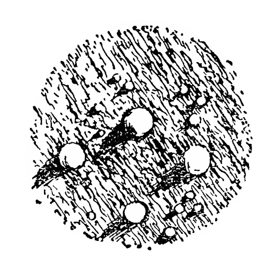


Рис. 29. Электронный микроскоп позволил заглянуть глубоко в мир мельчайших существ.

Советские учёные усиленно работают над дальнейшим усовершенствованием электронных микроскопов. Недалеко то время, когда электронный микроскоп станет одним из самых распространённых лабораторных приборов.

Применение электронных микроскопов в различных областях народного хозяйства и науки поможет лучше и полнее использовать богатства нашей Родины для строительства коммунизма.



СОДЕРЖАНИЕ

ЛИТЕРАТУРА

Всем, кто пожелает более подробно познакомиться с электронным микроскопом, мы рекомендуем прочесть:

1. Ю. М. Кушнир, Окно в невидимое, «Научно-популярная библиотека» Гостехиздата, 1947.

2. Ю. М. Кушнир, Электронный микроскоп, Воениздат, «Научно-популярная библиотека солдата», 1951.

3 Н. Г. Сушкин, Электронный микроскоп, «Физико-математическая библиотека инженера», Гостехиздат, 1949.

Цена 65 коп.